

УДК 523 164 621.391

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДВУМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ ИТЕРАЦИОННЫМИ АЛГОРИТМАМИ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ КОЛИЧЕСТВЕ СКАНОВ НОЖЕВЫМ ЛУЧОМ

М. И. Агафонов, О. А. Подвойская

На основании численных экспериментов даны рекомендации применения алгоритмов CLEAN при реконструкции двумерного распределения яркости при ограниченном числе проекций. Показано, что эффективным способом решения задачи является алгоритм чистки с использованием приспособленного контура. Рассмотрена оптимизация параметров на основании критерия по соответствию одномерных профилей. Предложен способ повышения устойчивости стандартной чистки. Результаты полезны для обработки данных при покрытиях радиоисточников Луной, при наблюдениях сектором радиотелескопа РАТАН-600, а также для томографических исследований. Приводятся примеры результатов численного моделирования

В работе рассмотрен синтез двумерного распределения яркости по одномерным профилям, полученным при сканировании по изучаемой области ограниченным количеством ножевых лучей. Случай соответствует редкому заполнению весовой функцией системы формирования *UV*-плоскости, поэтому для экстраполяции решения задачи обращения свертки необходимы нелинейные методы обработки [1]. При восстановлении можно использовать применяемые в радиоастрономии итерационные алгоритмы чистки [2–5] или метод максимальной энтропии [6–9].

Актуальность задачи связана с возможностью получить более качественное решение по сравнению с ранними процедурами обработки [10–12]. Предпосылками послужили новые теоретические результаты [1], полученные на основе современных методов решения некорректных задач [13], и развитие в последние годы итерационных алгоритмов [1, 4, 5]. Подобная задача имеет место в апертурном синтезе, например, при наблюдениях сектором с плоским отражателем на радиотелескопе РАТАН-600, при восстановлении двумерного распределения яркости по одномерным профилям стрип-распределений, полученным при покрытиях радиоисточника Луной [10, 11]. Вопрос восстановления интересен также для томографических исследований.

Цель работы — выяснить возможности восстановления при ограниченном числе сканов, дать рекомендации использования современных алгоритмов.

1. Постановка обратной задачи. Задача связана с восстановлением детального распределения яркости Крабовидной туманности по неполным данным — малому количеству одномерных профилей стрип-распределений яркости покрытий радиоисточника Луной. При наблюдениях [16, 17] на частоте 750 МГц были получены четыре дифференциальные кривые на различных позиционных углах 249, 105, 230, 127° в секторе 77°. Восстановление стрип-распределений из интегральных кривых обсуждалось ранее [16–18]. Будем считать, что одномерные профили эквивалентны сканированию по источнику ножевым лучом, имеющим гауссово сечение, ширина которого на уровне половины интенсивности $\Delta\varphi = 15''$. Численное моделирование выполнялось в первую очередь для синтеза распределения яркости Крабовидной туманности на частоте 750 МГц. Поэтому детальное изображение радиоисточника, по-

лученное с помощью VLA на наиболее близкой частоте 1,4 ГГц [23], легло в основу численных экспериментов. Пример может хорошо иллюстрировать возможности восстановления в целом, так как в структуре объекта на общем протяженном фоне ($360 \times 488''$) [20] присутствуют как крупномасштабные, так и мелкомасштабные компоненты. Ранние методы [2] сталкивались с затруднениями при обработке именно протяженных областей

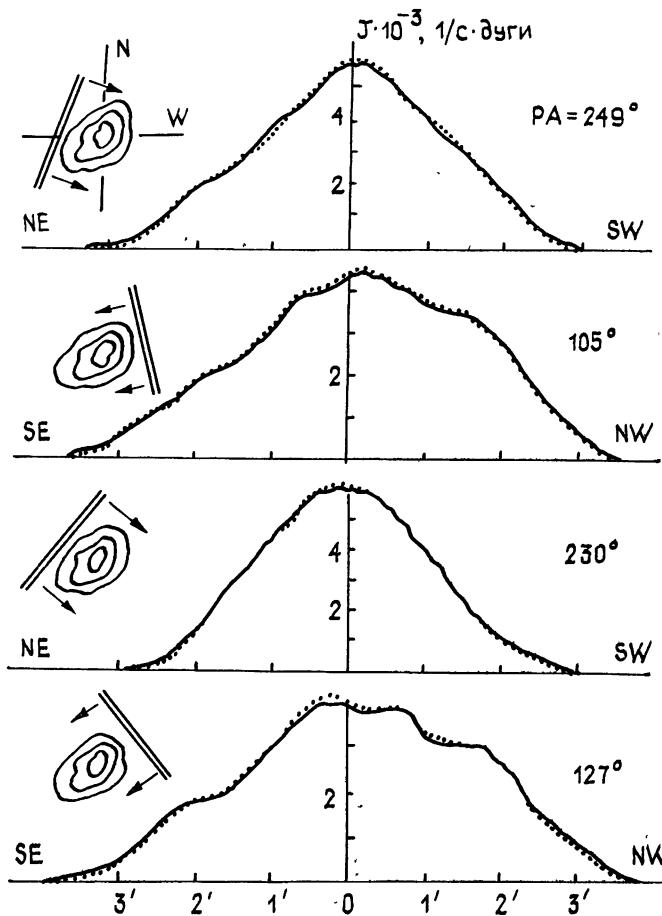


Рис. 1. Исходные и контрольные для $\lambda=0,1$ (нанесены точками) профили стрип-распределений (рядом показана ориентация сканирующих лучей по отношению к объекту).

Сканирование по изображению туманности на 1,4 ГГц — истинному объекту $f(x, y)$ (см. рис. 5а), средний диаметр которого $D \approx 400''$, проводится ножевыми диаграммами шириной $\Delta\varphi = 15''$. Полученные в результате свертки профили стрип-распределений $g_{\theta i}(R)$ изображены на рис. 1. Их площадь нормирована на единицу, значения интенсивности приводятся в расчете на $1''$. Совокупность ножевых лучей на разных позиционных углах можно представить в виде синтезированной диаграммы (СД) или весовой функции формирования системы $h(x, y)$, которая показана на рис. 2а. Размеры СД на уровне половины интенсивности составляют $\Delta\varphi_s = 20 \times 35''$. Вследствие линейности передаточной характеристики формирующей системы как $h(x, y)$, так и синтезированное изображение объекта — некорректная карта (НК) $g(x, y)$ (см. рис. 5б) — построены с использованием одинаковой методики [22]. При этом значения функций $g(x, y)$ и $h(x, y)$ вычисляются суммированием соответствующих одномерных профилей:

$$g(x, y) = \sum_{i=1}^4 g_{\theta i}(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i). \quad (1)$$

Полученная НК $g(x, y)$ эквивалентна свертке исходного объекта с синтезированной диаграммой:

$$g(x_0, y_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x-x_0, y-y_0) f(x, y) dx dy + n(x_0, y_0), \quad (2)$$

где $n(x_0, y_0)$ — в общем случае случайный шум.

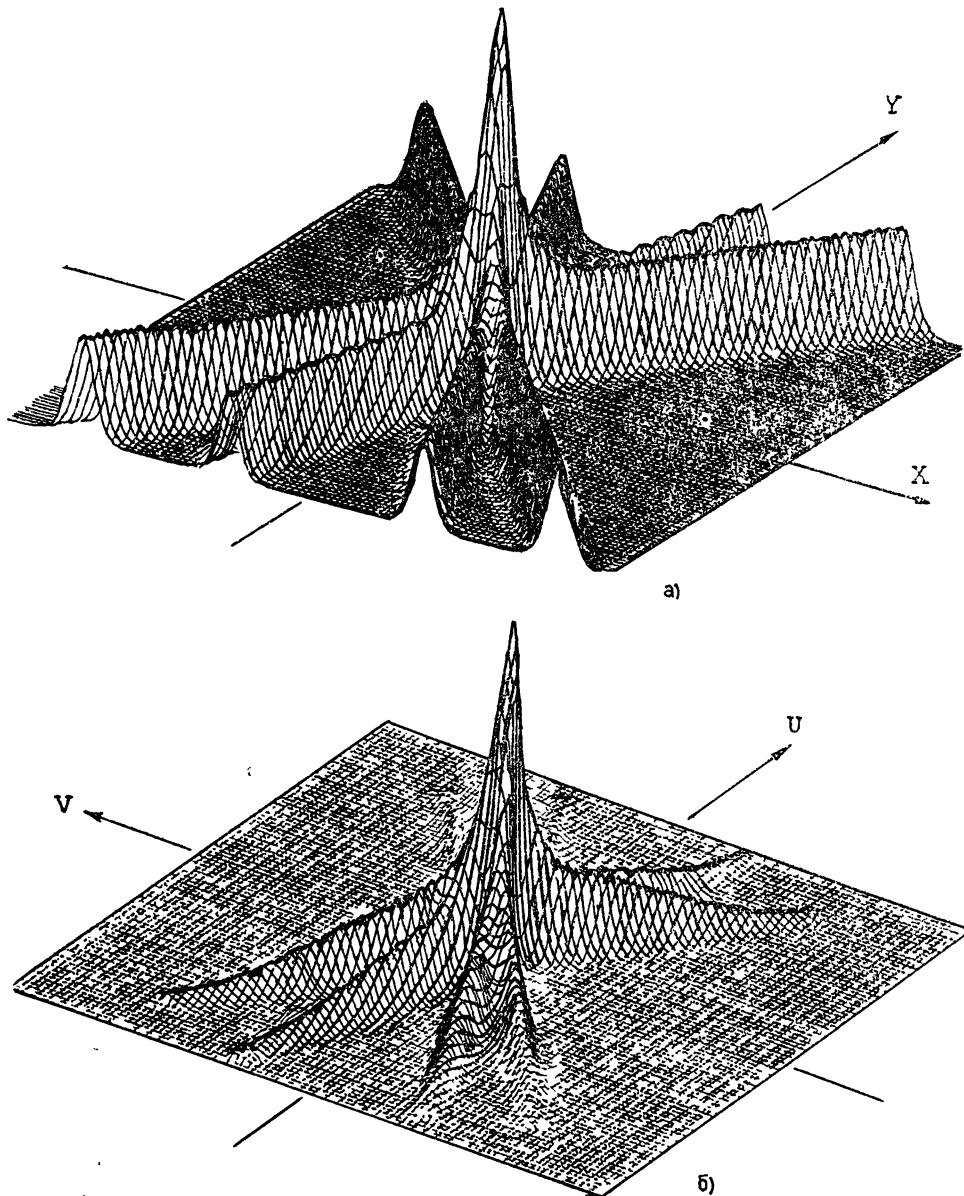


Рис. 2. Синтезированная диаграмма: а) изображение во временной области, б) модуль спектра

У Брейсуэлла [22] при полном заполнении функцией $h(x, y)$ области пространственных частот до радиуса с граничной частотой ω_g синтезированное распределение яркости $g_p(x, y)$ можно рассматривать в качестве исходного объекта $g_p(x, y) \simeq f(x, y)$. Предварительная фильтрация проекций в [22], свертка с функцией вида $\sin c/c$, соответствует прямоугольной полосе пропускания до ω_g и выполняется с целью сужения области неопределенности решения. Ошибка определения реше-

ния $\hat{f}(x, y)$ менее одного процента, восстановление называют полным [22]. По формуле

$$N \geq \pi D / \Delta\phi \quad (3)$$

из [22], связывающей желаемое угловое разрешение $\Delta\phi = 1/\omega_r$, диаметр изучаемой области D с необходимым количеством проекций N , получим, что в нашем случае потребуется около 40 сканов. Как видно из рис. 5б, при четырех профилях искажения истинного распределения яркости на некорректной карте $g(x, y)$ столь существенны, что интерпретация структуры объекта данного вида теряет смысл. Влияет высокий уровень боковых ($\sim 25\%$), имеющих форму расходящихся лучей.

В отличие от [22] наша синтезированная диаграмма имеет редкое заполнение в пределах выбранной ω_r . Как видно из рис. 2б, на UV -плоскости существует большая область пространственных частот в пределах радиуса ω_r , в которой отклик функции $h(x, y)$ равняется нулю. Заполнение составляет около 10%. Следовательно, нужна экстраполяция решения, а значит — нелинейные методы обработки. В математическом смысле восстановление является задачей обращения линейного уравнения Фредгольма первого рода типа свертки (2). Ввиду некорректности задачи вопрос о степени приближения решения $\hat{f}(x, y)$, об информации, которую возможно получить, следует выяснить с помощью численного эксперимента. При этом необходимо учитывать требование регуляризации решения [13], что неразрывно связано с методом восстановления.

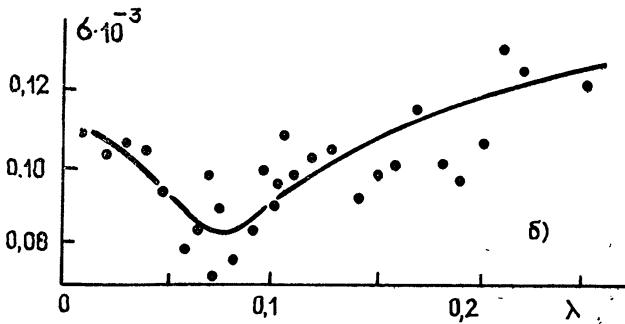
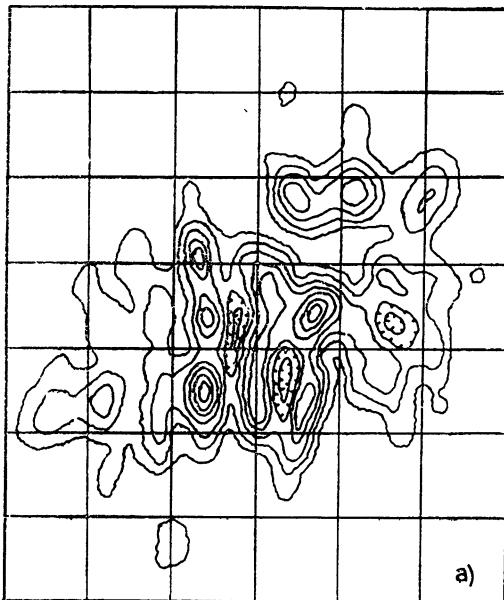


Рис. 3. Моделирование стандартной чисткой: а) результат необоснованного выбора усиления ($\lambda = 0,25$, 259 итераций); б) зависимость величины ошибки исходных и контрольных профилей от усиления λ .

2. Выбор и обсуждение методики восстановления. Ввиду относительной простоты в сравнении с методом максимальной энтропии (МЕМ) наибольшую привлекательность для решения задачи представляют итерационные алгоритмы с нелинейными ограничениями, называемые в радиоастрономии CLEAN (чистка). Новые эффективные варианты МЕМ, например [9], хотя и демонстрируют хорошие возможности, однако предполагают использование для статистики больших массивов данных. Подобные алгоритмы требуют весьма значительного количества вычислений, реализация и использование их доступны на современных векторных компьютерах. Наши программы составлены применительно к ЭВМ БЭСМ-6.

Известно, что шум в правой части уравнения (2) делает задачу неустойчивой, малые изменения его могут приводить к большим отклонениям оценки решения $\hat{f}(x, y)$ от ее истинного значения. Для итерационных алгоритмов с ограничениями [1] методика регуляризации на базе тихоновских алгоритмов [13] описана в работе [14]. Применение в задаче используемых в радиоастрономии модификаций алгоритма CLEAN [2-5] необходимо также рассматривать с учетом требования регуляризации.

В нашей задаче, следуя обобщенному подходу [13], нужно минимизировать функционал

$$\Phi[f] = \Phi_0[f] + C[f, \lambda_1, \dots, \lambda_L] + \alpha\Omega[f], \quad (4)$$

где $\Phi_0[f]$ — функционал-критерий (мера качества); $C[f, \lambda]$ — ограничения (например, уравнение формирования $g = h\hat{f} + n$, неотрицательность решения $\hat{f}(x, y) \geq 0$, ограничения на пространственную или спектральную протяженность, если известно, что $f(x, y) \neq 0$ в каком-то интервале $x \in (a, b)$, $y \in (c, d)$ или что $F(\omega) = F(\omega)$ при $\omega \leq \omega_r$ и $F(\omega) = 0$ при $\omega > \omega_r$); $\Omega[f]$ — стабилизирующий функционал для устойчивости к шумам; α — стабилизирующий множитель. Как правило, мерой качества могут являться энтропия, мощность или норма ошибки. В нашем случае в качестве теста-критерия разумно использовать норму ошибки сравнения контрольных профилей, полученных стрип-интегрированием решения $\hat{f}(x, y)$, и исходных одномерных кривых (см. рис. 1). Однако прежде чем положиться на оценку, качества решения с помощью этого критерия, следует на численном эксперименте убедиться в эффективности теста при малом числе профилей и сложной структуре исходного объекта. Решение (4) можно искать традиционно [13], рассматривая систему нелинейных уравнений, или же методами прямой оптимизации градиентного вида. Заметим, что методы прямой оптимизации представляют собой многомерный итерационный процесс, в целом аналогичный итерационным алгоритмам. По этому и итерационные алгоритмы, в свою очередь, можно рассматривать, исходя из обобщенного вида (4). Выбранный нами критерий не может быть непосредственно включен в общую схему итерационного алгоритма [14]:

$$f^{k+1} = r_\alpha C f^k + \lambda(g - h C f^k), \quad (5)$$

где C — ограничения, которых много в общем случае ($C = C_1, C_2, \dots, C_n$); λ — управляющий параметр, называемый усиление (интервал изменения λ в общем случае $0 < \lambda < 2/\max H(\omega)$, где $H(\omega)$ — преобразование Фурье от $h(x)$); r_α — стабилизатор, который вычисляется через обратное преобразование Фурье от частотной характеристики тихоновского стабилизирующего множителя. Поэтому после первичной оценки $\hat{f}(x, y)$ с учетом дальнейшего стрип-интегрирования вводятся поправки в итерационную схему. В итоге решение сводим к набору задач оптимизации.

В первой при помощи (5) находится приближение $\hat{f}(x, y)$, вторая вклю-

чает стрип-интегрирование, вычисление ошибки сравнения исходных и контрольных профилей $\sigma(\lambda)$, при этом минимизация $\sigma(\lambda)$ при изменении λ позволяет определить лучшее приближение решения, укладывающееся в интервал ошибки исходных профилей.

Наиболее известной в радиоастрономии реализацией итерационного метода является широко применяемый с 1974 г. алгоритм стандартной чистки Хегбома [2]. В каждой итерации участвует один компонент используемой для изображения сетки. Негативные качества — малая скорость и вероятные искажения: «морщины» или «овражная» структура, проявляющиеся на протяженных областях. Сходимость метода для некоторых случаев доказана Шварцем [24]. Блок-схема имеется в работах [5, 18]. Алгоритм [2] не содержит ясный критерий выбора усиления λ , однако неоднократно отмечалось, что результат может зависеть от его выбора сложным образом. Привлекательна простота метода.

В 80-е годы появились модификации базового алгоритма. Кларк [3] ввел изменения с целью ускорения процесса. В 1983 г. Корнвеллом [4] предложены два варианта для стабилизации и уменьшения искажающих эффектов: SSC-чистка, стабилизированная сглаживанием, и ESC-чистка, стабилизированная энтропией. При малых λ алгоритм SSC эффективен в понижении искажений, однако ценой асимптотического поведения процесса. В [25] показано теоретически и на примере, что единственное решение, к которому сходится алгоритм, не должно иметь желанных качеств подавления боковиков. Кроме того, отмечалось, что вторая методика (ESC) не может быть использована, так как процесс не сходится.

В работе Стира и др. в 1984 г. [5] представлена существенная модификация чистки (TC-CLEAN), в которой для выбора компонентов в каждой итерации используется метод приспособленного контура (TC). Ценные качества алгоритма проявляются при обработке протяженных областей. Поскольку в каждой итерации участвует одновременно большое количество компонентов с интенсивностью, превосходящей установленный уровень контура TC, предотвращается образование дефектов в виде полос: «морщин» и «гребней». Отметим, что у Кларка [3] ускорение достигается за счет вычитания диаграммы одновременно из нескольких пиков. Поскольку при этом используется только центральная часть СД, возможны заблуждения при наличии достаточно сильных боковиков на удалении от центра. В нашем случае уровень боковиков с увеличением радиуса не снижается, что делает неприемлемой модификацию [3]. В [5] возникновение подобных дефектов исключено. Сокращение времени достигается при перемножении матриц в частотной области и из-за выбора в каждой итерации оптимального шага приращения при применении двух пар БПФ. В итоге модификация TC-CLEAN [5], видимо, наиболее привлекательна для решения задачи.

3. Результаты численного моделирования. Ввиду относительной простоты в первую очередь было целесообразно использовать метод стандартной чистки. Несомненный интерес представляло также сравнение результатов моделирования обоими алгоритмами [2, 5] при применении теста-критерия по соответствию одномерных профилей.

Стандартная чистка (ST-CLEAN), регуляризация решения. Итерационный процесс алгоритма [2] предусматривает совмещение центра $h(x, y)$ с пиком P_i на $g(x, y)$ и последующее вычитание луча h с амплитудой $M_i = \lambda P_i$, зависящей от усиления λ . Точечный компонент, масштабированный таким образом, прибавляется к результату. Цикл повторяется до уменьшения пиков на некорректной карте до порога, соответствующего уровню шума n . Пользователь устанавливает два параметра: λ и n . Большие значения усиления (для данной структуры объекта $\lambda > 0,2$) хотя и сокращают счетное время, поскольку $\log K \sim -\log \lambda$, где K — число итераций, однако приводят к значительным искажениям изображения — дроблению на обособленные сильные компоненты. Слишком малые величины λ также не дают положительного

эффекта из-за суммирования арифметических ошибок, к тому же значительно увеличивают счетное время. Рис. 3а иллюстрирует результат необоснованной установки усиления. Значение $\lambda = 0,25$ привело к полному расхождению результата с исходным объектом. Для выбора λ необходимо ограничение, основанное на дополнительной априорной информации. Критерием должен служить процесс минимизации функционала, зависящего от суммарной величины ошибки исходных и контрольных профилей. Данная процедура соответствует решению по невязке. В итоге решение задачи должно отвечать ряду требований: 1) находиться в согласии с данными на некорректной карте $\|g - h^f\| = \|n\|$; 2) удовлетворять ограничениям, введенным в структуру итерационного алгоритма $\hat{f} = \hat{C}\hat{f}$; 3) минимизировать функционал $\hat{f} = \min_{\hat{f}} \Phi_0[\sigma^2(\hat{f})]$, где σ — среднеквадратичная ошибка исходных и контрольных профилей.

На рис. 3б приведены вычисленные значения ошибок исходных и контрольных профилей для серии построенных изображений в зависимости от усиления. Осцилляции появляются вследствие неустойчивости алгоритма. Зависимость носит шумоподобный характер, однако существует ярко выраженный минимум в интервале $0,05 < \lambda < 0,10$. Дефекты структуры наиболее заметны при реконструкции источников с протяженной эмиссией. Пространственное положение пиков, между которыми расположена «овражная» структура, может перестраиваться случайным образом при изменении λ даже на малую величину ($\Delta\lambda \sim 0,001$). Для повышения устойчивости на основании численного моделирования рекомендуется: 1) определить по соответствуанию профилей наиболее благоприятный интервал (область поиска при наличии протяженных структур $0,03 \leq \lambda \leq 0,20$); 2) в установленном интервале выполнить выбор ряда параметров λ_j , при которых отклонения σ минимальны; 3) для отобранных значений λ_j усреднить результаты чистки $\langle \hat{f}(x, y) \rangle$. При этом сводятся к минимуму случайные детали. На рис. 3а показано усреднение трех реализаций. Предложенный путь решения — это объединение итерационного процесса [2], имеющего сложный статистический характер, и процесса оптимизации, основанного на сравнении профилей, с методами, позволяющими извлекать информацию из ансамбля искаженных изображений. При этом усреднение — один из наиболее простых приемов повышения устойчивости; для получения наиболее «острого» стабильного решения в рамках заданных ограничений можно рекомендовать более сложные способы, используемые для обработки набора спектр-масок короткоэкспозиционных изображений (см. например, [1, 18]).

Восстановление алгоритмом чистки с применением приспособленного контура (TC-CLEAN), процесс оптимизации. Второй реализованный алгоритм [5], блок-схема которого приводится в работах [5, 18], дает существенные улучшения при обработке протяженных структур. Как видно из рис. 5б, некорректная карта в нашем случае имеет весьма гладкую структуру. При этом в контур вначале попадает наиболее протяженная область, с ростом номера итерации в качестве компонентов участвуют все более мелкие детали. Подобный характер процесса не потребовал введения в нашей задаче дополнительного стабилизатора r_a . На заключительной стадии вычисления можно всегда остановить в случае усиления шума. Ценные качества алгоритма — большая скорость обработки, высокая устойчивость. Отсутствуют искажения в виде «оврагов», в 20—30 раз уменьшается число итераций по сравнению со стандартной чисткой.

Рассмотрим вопрос выбора решения на основании минимизации ошибки стрип-интегральных профилей. Пользователю необходимо установить три параметра: уровень контура TC , усиление и пороговый уровень из некорректной карте. Величину TC , согласно [5], следует выбрать немногим выше уровня большего боковика. При ножевых лучах подобный низкий уровень не дает сходимости процесса, поскольку в

контур, начиная с первой итерации, попадает эмиссия грязной карты, расположенная вне истинной области излучения источника. Выполненные расчеты иллюстрируют возможности оптимизации при выборе параметров TC и λ . На рис. 4а показаны значения σ (TC), полученные при $\lambda = \text{const}$. Из графика видно, что критерий позволяет определить наиболее благоприятный интервал для выбора TC , в данной задаче $0,7 \leq TC \leq 0,8$. Точнее выполнить оптимизацию позволяет расчет нескольких зависимостей σ ($\lambda, TC = \text{const}$). Из рис. 4 видно, что $TC=0,79$ близко к оптимальному значению, разброс значений при $TC=0,73$ иллюстрирует заниженный уровень контура. Варианты решений при $TC=0,79$ практически не отличаются при изменении усиления в достаточно широком интервале $0,25 \leq \lambda \leq 0,50$. Изображение для $TC=0,79$, $\lambda=0,26$ показано на рис. 6б. В итоге для подобных задач рекомендуется: 1) установить TC по возможности ниже, однако в пределах границ истинной области излучения, используя априорные данные; 2) выбрать λ несколько больше, чем $1-TC$; 3) дополнительно можно выполнить более точную оптимизацию контура TC подобно процессу, показанному на рис. 4.

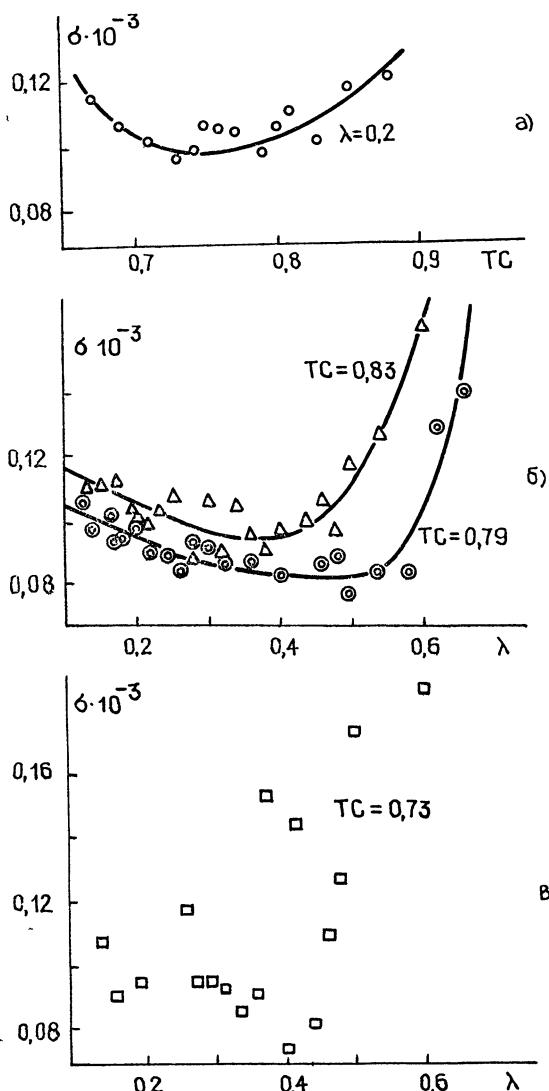


Рис. 4. Процесс оптимизации при использовании чистки с применением приспособленного контура TC .

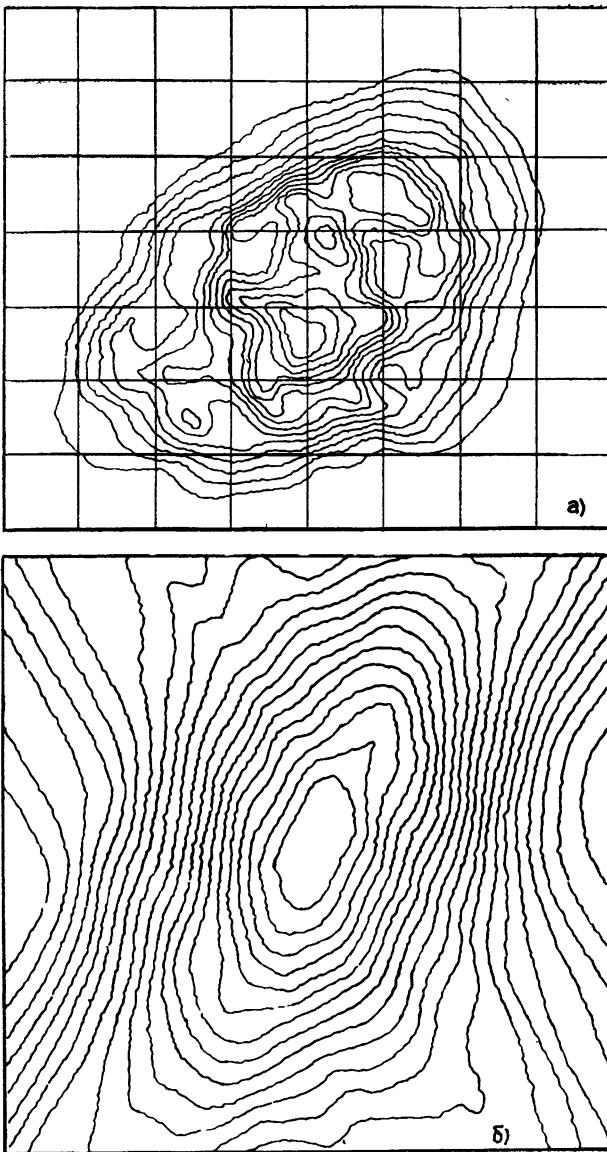


Рис 5. а) Истинное изображение объекта, б) некорректная карта (для всех изображений поле 8×8 мин дуги на сетке 65×65 пиксел).

4. Обсуждение. Как следует из графиков на рис. 3б, 4б, минимальная ошибка исходных и контрольных профилей при получении устойчивых решений примерно одинакова для обоих алгоритмов. В рассмотренном примере $\sigma = 0,09 \cdot 10^{-3}$, что составляет около 1,8% максимальной интенсивности любого профиля. На результат не повлияло наложение случайного шума с амплитудой $\leq 2\%$ на исходные проекции. Дальнейшее усиление шума приводит к снижению качества восстановления, поскольку минимизацию σ следует проводить лишь до уровня ошибки исходных профилей. Эксперименты показали также, что в случае априорно неизвестного объекта устойчивый вариант ST-CLEAN позволяет получить наиболее «острое», а TC-CLEAN наиболее «гладкое» допустимые изображения, согласующиеся с исходными проекциями. Хорошее совпадение решений при обработке двумя методами ца-блудается для простых объектов. В сложных случаях, при более гладких профилях, использование двух алгоритмов может быть полезно для

изучения неопределенности результата. Решением, совпадающим с физическими особенностями Крабовидной туманности, является результат, полученный методом [5], первый алгоритм полезен лишь для получения информации о мелких компонентах [11]. Изображение на рис. 6б (TC-CLEAN) лучше соответствует истинному объекту на рис. 5а. Совпадают положения большинства изофот, основных градиентов, хорошо восстановлена протяженная структура и основные элементы с амплитудой $\geq 7\%$. Таким образом, вариант TC-CLEAN является более эффективным способом решения задачи, ST-CLEAN можно применять либо в отсутствие протяженных областей, либо для выделения мелких деталей, однако при этом неизбежен рост вычислительных затрат.

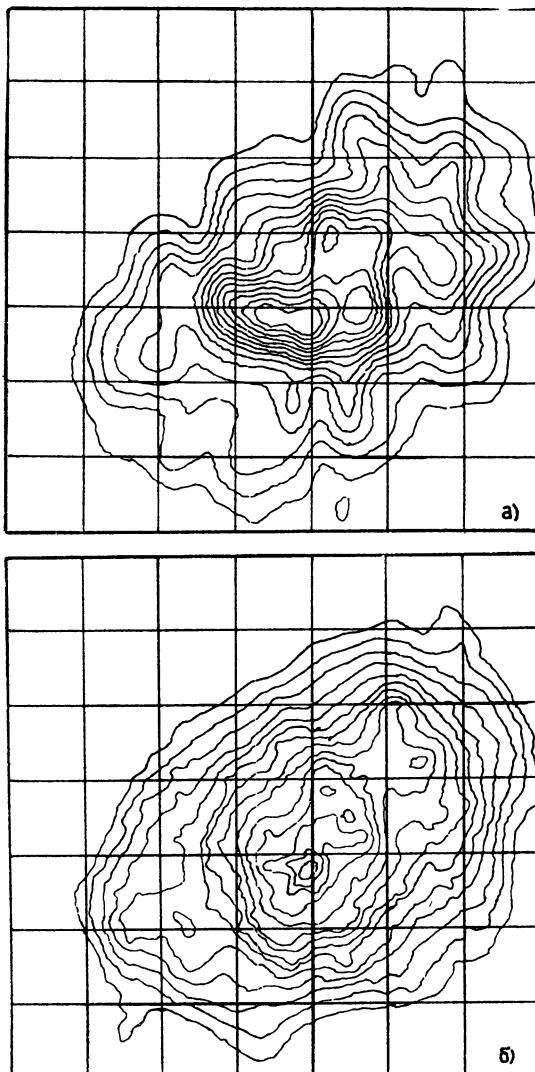


Рис. 6 а) Изображение, полученное при использовании стандартной чистки (усреднение трех лучших реализаций), б) изображение, восстановленное чисткой с применением приспособленного контура ($TC=0,79$, $\lambda=0,26$, 16 итераций).

В составленных программах использовалась стандартная библиотека ЭВМ БЭСМ-6, учитывались также результаты [15, 19]. Вопросу реконструкции изображений по проекциям в последние годы уделяется большое внимание (см., например, [15, 21]), надеемся, что предложенные

рекомендации будут полезны при восстановлении изображений в радиоастрономии и томографических исследованиях.

Авторы выражают благодарность К. С. Станкевичу за внимание к работе и ценные советы, а также К. П. Гайковичу за полезное обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко Г. И., Тараторин А. М. Восстановление изображений. — М.: Радио и связь, 1986 — 304 с.
2. Hogbom J. A. // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1974 V. 15. № 3 P. 417.
3. Clark B. G // Astron. Astrophys. 1980. V. 89 P. 377
4. Cornwell T. J. // Astron. Astrophys. 1983. V. 121. № 2. P. 281.
5. Steer D. G, Dewdney P. E., Ito M. R // Astron. Astrophys. 1984. V. 137. № 2 P. 159
6. Frieden B. R, Wells D. C // J. Opt Soc America. 1978. V. 68. № 1. P. 93.
7. Skilling J., Bryan R. K. // Mon. Not. R. astr. Soc. 1984. V. 211. № 1. P. 111.
8. Cornwell T. J., Evans K. F. // Astron. Astrophys. 1985. V. 143. № 11. P. 77.
9. Reiter J., Pfleiderer J. // Astron. Astrophys. 1986. V. 166. № 1/2. P. 381.
10. Maloney F. P., Gottsman S. T. // Astrophys. J. 1979. V. 234. P. 485.
11. Агафонов М. И., Асланян А. М., Гулян А. Г. и др. // Письма в Астрон. журн. 1986. Т. 12 № 4 С 275.
12. Минченко Б. С. // Изв. вузов. Радиофизика. 1983. Т. 26. № 11. С. 1463.
13. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач — М.: Наука, 1986 — 288 с.
14. Тараторин А. М. // Радиотехника и электроника 1986. Т. 31. № 3 С. 1316.
15. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1987. — 400 с.
16. Агафонов М. И., Асланян А. М., Барабанов А. П., Бубукин И. Т. и др. // Письма в Астрон. журн. 1984. Т. 10. № 10. С. 730
17. Агафонов М. И., Асланян А. М., Барабанов А. П., Бубукин И. Т. и др // Астрофизика. 1984. Т. 21. № 2 С. 283.
18. Агафонов М. И., Подвойская О. А. Препринт НИРФИ № 241. Горький, 1987.
19. Компьютеры в оптических исследованиях / Под ред. Б. Фридена: Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 488 с.
20. Агафонов М. И., Асланян А. М., Гулян А. Г., Иванов В. П. и др. // Астрон. журн. 1987. Т. 64. № 1. С. 60.
21. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии. Пер. с англ. — М.: Мир, 1983 — 352 с.
22. Vlasevill R. N., Riddle A. C. // Astrophys. J. 1967. V. 150. P. 427.
23. Velusamy T. // Mon. Not. R. astr. Soc. 1985. V. 212. P. 359.
24. Schwarz U. J. // Astron. Astrophys. 1978. V. 65. № 3. P. 345
25. Tan Cze M. // Mon. Not. R. astr. Soc. 1986. V. 220. № 4. P. 971;

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
6 августа 1987 г.,
после доработки
13 апреля 1988 г.

RECOVERING OF TWO-DIMENSIONAL BRIGHTNESS DISTRIBUTION WITH ITERATIVE ALGORITHMS BY LIMITED BEAVERTAIL BEAMS QUANTITY

M. I. Agafonov, O. A. Podvojskaya

On basis of numerical experiments the usage recommendations are made of CLEAN-algorithms by reconstruction of two-dimensional brightness distribution with limited numbers of one-dimensional profiles. It is shown that the CLEAN-algorithm with trim-contour is the effective method of solution of the deconvolution problem in this case. The parameters of optimization on the criterium of profiles coincidence are considered. The method of the increase of the standart CLEAN stability is also proposed. The results obtained are useful for image reconstruction on the strip-distribution by lunar occultation, for the processing observational data of radiotelescope RATAN-600 sector, and also by the usage of beavertail beams by remote sensing in tomography. The examples of numerical modeling results are given.